

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
22. April 2004 (22.04.2004) ✓

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/034579 A1(51) Internationale Patentklassifikation⁷: H03H 9/54, 9/58

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/010431 ✓

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. September 2003 (18.09.2003) ✓

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 46 791.9 ✓ 8. Oktober 2002 (08.10.2002) ✓ DB(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): EPCOS AG [DE/DE]; St.-Martin-Str. 53, 81669
München (DE). ✓

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): TIKKA, Pasi [FI/DE];

Waterbergstr. 2, 81827 München (DE). STÖMMER,
Ralph [DE/DE]; Hohenbrunner Str. 36, 85579 Neubiberg
(DE). SCHMIDHAMMER, Edgar [DE/DE]; Hochgem-
str. 28, 83371 Stein (DE). UNTERBERGER, Michael
[AT/DE]; Leipziger Str. 12, 82008 Unterhaching (DE). ✓(74) Anwalt: EPPING HERMANN FISCHER PATENTAN-
WALTSGESELLSCHAFT MBH; P.O. Box 200734, ✓
80007 Munich (DE).

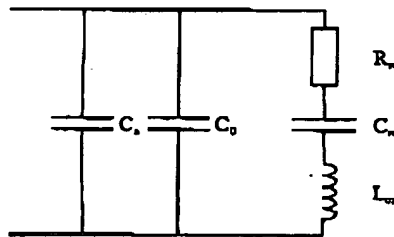
(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US. ✓

Veröffentlicht: ✓

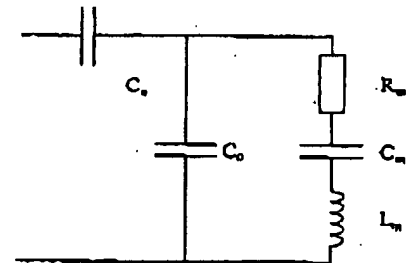
— mit internationalem Recherchenbericht
— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen
eintreffen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: BULK ACOUSTIC WAVE RESONATOR AND CIRCUIT COMPRISING SAME

(54) Bezeichnung: MIT AKUSTISCHEN VOLUMENWELLEN ARBEITENDER RESONATOR UND SCHALTUNG MIT DEM
RESONATOR ✓

a



b

(57) Abstract: The invention concerns a volume acoustic wave resonator and circuit comprising same (BAW resonator) and band-pass filters formed with such resonators. The invention aims at increasing the slope of the signal in the passband of a band-pass filter consisting of BAW resonators. Therefore, the effective coupling of the BAW resonator is reduced if, instead of using only one resonator, a BAW resonator mounted in parallel with a capacitor is used. Moreover, to increase the slope of the signal in said passband, BAW resonators coupled in the series branch of a filtering circuit can be mounted with an additional resonator or stack of resonators in the parallel branch of said filtering circuit. The invention is characterized in that said additional resonator or stack of resonators is connected to the central electrode of the first stack of resonators.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonator (BAW-Resonator, BAW = Bulk Acoustic Wave) und Bandpaßfilter, die aus solchen Resonatoren aufgebaut sind. Um die Flankensteilheit des Durchlaßbereiches eines BAW-Bandpaßfilters zu erhöhen, schlägt die Erfindung vor, die effektive Kopplung eines BAW-Resonators zu reduzieren, indem die parallele Beschaltung eines BAW-Resonators und eines Kondensators anstelle nur eines Resonators verwendet wird. Ferner wird zur Erhöhung der Flankensteilheit des Durchlaßbereiches vorgeschlagen, eine Verschaltung von gekoppelten BAW-Resonatoren im Serienzweig einer Filterschaltung mit einem weiteren Resonator oder Resonator-Stapel im Parallelzweig der Filterschaltung zu verwenden, wobei der weitere Resonator oder Resonator-Stapel an die Mittelelektrode des zuerst genannten Resonator-Stapels angeschlossen ist.

P2002,0843

1

Beschreibung

Mit akustischen Volumenwellen arbeitender Resonator und
Schaltung mit dem Resonator

5

Die Erfindung betrifft einen mit akustischen Volumenwellen
arbeitenden Resonator (oder FBAR, Thin Film Bulk Acoustic
Wave Resonator), auch BAW-Resonator (Bulk Acoustic Wave
Resonator) genannt, sowie eine aus solchen Resonatoren
aufgebaute Schaltung.

10

BAW-Resonatoren sind insbesondere für Bandpaß-
Hochfrequenzfilter in der modernen Filtertechnik geeignet und
können z. B. in den Geräten der mobilen Kommunikation
eingesetzt werden.

15

Ein mit akustischen Volumenwellen arbeitender Resonator weist
eine piezoelektrische Schicht auf, die zwischen zwei
Metallschichten (Elektroden) angeordnet ist. Es ist bekannt,
daß anstelle nur einer piezoelektrischen Schicht auch eine
Schichtenfolge benutzt werden kann. Die Schichten werden auf
einem Substrat aufeinanderfolgend abgeschieden und zu
Resonatoren strukturiert, welche miteinander elektrisch
verbunden sind und zusammen z. B. eine Filterschaltung,
insbesondere ein Bandpaßfilter realisieren können. Ein
solches Bandpaßfilter kann zusammen mit einem weiteren Filter
auch in einem Duplexer eingesetzt werden.

20

25

Figur 1 zeigt das Ersatzschaltbild eines BAW-Resonators. Der
Resonator wird außerhalb eines Frequenzbereiches um die
Resonanzfrequenz durch eine statische Kapazität C_0 und in der
Nähe der Resonanzfrequenz durch die Serienverschaltung eines
Widerstands R_m , einer Kapazität C_m und einer Induktivität L_m
charakterisiert. Die statische Kapazität ist im wesentlichen
durch die Resonatorfläche und die Dicke der piezoelektrischen
Schicht definiert. Der Widerstand R_m beschreibt Verluste im
Resonator, die Kapazität C_m und die Induktivität L_m bestimmen

30

35

P2002,0843

die Resonanzfrequenz $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_m C_m}}$. Das Verhältnis C_m/C_0

bestimmt die Kopplung des Resonators. Der Kopplungskoeffizient k des Resonators ist mit der Resonanzfrequenz f_r und der Antiresonanzfrequenz f_a

5 verbunden: $k^2 = \frac{f_a^2 - f_r^2}{f_a^2}$, wobei $f_a = f_r \sqrt{1 + C_m/C_0}$.

Ein Bandpaßfilter wird durch eine Übertragungsfunktion charakterisiert, die insbesondere einen Durchlaßbereich und mehrere Sperrbereiche aufweist. Der Durchlaßbereich wird
10 wiederum durch seine Bandbreite, die Einfügedämpfung im Durchlaßbereich und die Flankensteilheit am Rande des Durchlaßbereiches charakterisiert.

Es ist bekannt, daß zwei BAW-Resonatoren SR1 und SR2 (wie in
15 Figur 2 schematisch dargestellt) miteinander akustisch verkoppelt sein können, wenn sie beispielsweise in einem Stapel übereinander angeordnet sind. Dabei bilden die genannten Resonatoren zwischen einem Port P1 und einem Port P2 eine Serienschaltung, z. B. in einer Stacked-Crystal-
20 Anordnung, bei der beide Resonatoren eine gemeinsame Elektrode haben, welche mit Masse verbunden ist (siehe Figur 3), oder in einer Coupled-Resonator-Anordnung, bei der zwischen der oberen Elektrode E2 des unteren Resonators und der unteren Elektrode E3 des oberen Resonators eine
25 Koppelschicht KS angeordnet ist, und die genannten Elektroden mit Masse verbunden sind (siehe Figur 4). Ein erster Resonator in Figur 3 umfaßt eine piezoelektrische Schicht PS1, die zwischen zwei Elektroden E1 und E2 angeordnet ist, und einen unterhalb der Elektrode E1 angeordneten akustischen
30 Spiegel AS, der auf einem Trägersubstrat TS liegt. Über dem ersten Resonator ist ein zweiter Resonator angeordnet, der eine piezoelektrische Schicht PS2 umfaßt, welche zwischen der Elektrode E2 und einer Elektrode E3 angeordnet ist. Die Elektrode E1 ist dabei an den Port P1, die Elektrode E3 an
35 den Port P2 und die Elektrode E2 an die Masse angeschlossen.

P2002,0843

3

Das in Figur 4 dargestellte Schichtsystem besteht aus einem auf einem Trägersubstrat TS angeordneten ersten Resonator, einer darüber liegenden Koppelschicht KS und einem über der Koppelschicht KS angeordneten zweiten Resonator. Der erste Resonator ist wie in Figur 3 beschrieben angeordnet und zwischen dem Port P1 und der Masse angeschlossen. Der zweite Resonator enthält (von unten nach oben) zwei Elektroden E3 und E4 und eine dazwischen angeordnete piezoelektrische Schicht PS2, wobei der zweite Resonator zwischen dem Port P2 und der Masse angeschlossen ist. Die zwischen den genannten Resonatoren angeordnete Koppelschicht KS dient zur akustischen Kopplung dieser Resonatoren.

Filter, die aus akustisch gekoppelten Resonatoren aufgebaut sind, zeichnen sich durch eine hohe Stopbandunterdrückung aus. Allerdings ist die Flankensteilheit und damit die Nahselektion durch das Fehlen definierter Polstellen nahe am Paßband vergleichsweise gering.

Es ist bekannt, daß die BAW-Resonatoren in einer Ladder-Type- oder einer Lattice-Type-Bauweise miteinander verschaltet werden können. Die Lattice-Type-Anordnung der Resonatoren in einem Bandpaßfilter hat den Vorteil, daß die Selektion eines solchen Filters in Stopbandbereichen weit außerhalb des Durchlaßbereiches sehr gut ist und z.B. zwischen -40 und -60 dB liegt. Der Nachteil der genannten Filter-Anordnung besteht in einer geringen Flankensteilheit des Durchlaßbereiches. Daher ist es bei dieser Filter-Anordnung schwierig, eine ausreichende Dämpfung des Signals in den Stopbändern in der Nähe des Durchlaßbereiches zu erzielen.

In manchen Anwendungsbereichen ist eine erhebliche Flankensteilheit erforderlich. Bei den Duplexern, die für den PCS-Telekommunikations-Standard geeignet sind, muß beispielsweise ein Abfall der Übertragungsfunktion von ca. -3 dB auf deutlich unter -40 dB innerhalb eines Frequenzbereichs von nur 20 MHz gewährleistet werden. Bisher

P2002,0843

4

bekannte Bandpaßfilter, die aus BAW-Resonatoren aufgebaut sind, genügen solchen Anforderungen aufgrund von zusätzlichen Frequenzverschiebungen der Flanken bei Temperaturwechsel oder infolge gegebener Fertigungstoleranzen (die bei einem bei ca. 2 GHz arbeitenden Filter mit BAW-Resonatoren, die eine piezoelektrische Schicht aus ALN enthalten, mehrere MHz betragen können) nicht.

Aus der Druckschrift EP 0949756 A2 ist es bekannt, daß eine Serienschaltung von gestapelten, akustisch miteinander verkoppelten Resonatoren und weiteren Resonatoren anstelle nur eines Resonators in einer Filterschaltung die Flankensteilheit im Durchlaßbereich des Filters verbessert. Diese Lösung hat jedoch den Nachteil, daß sie viel Platz braucht.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen BAW-Resonator anzugeben, der eine große Flankensteilheit eines aus solchen Resonatoren aufgebauten Bandpaßfilters gewährleistet.

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Resonator nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsbeispiele sind weiteren Ansprüchen zu entnehmen.

Die Erfindung gibt einen mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonator (auch BAW-Resonator - Bulk Acoustic Wave Resonator - oder FBAR - Thin Film Bulk Acoustic Wave Resonator - genannt) an, der aus einer Schichtenfolge aufgebaut ist, welche folgende Schichten enthält: einen unteren Schichtbereich, der eine erste Elektrode umfaßt, einen oberen Schichtbereich, der eine zweite Elektrode umfaßt, und dazwischen eine piezoelektrische Schicht. Parallel oder in Serie zu dem genannten Resonator ist eine Kapazität geschaltet.

P2002,0843

5

Die parallele Verschaltung eines BAW-Resonators und einer Kapazität C_a anstelle eines unverschalteten Resonators reduziert die effektive Kopplung des BAW-Resonators (d. h. den Abstand zwischen der Resonanz- und der

- 5 Antiresonanzfrequenz des Resonators), indem die effektive statische Kapazität C'_0 erhöht wird, $C'_0 = C_0 + C_a$. Dabei bleibt die Resonanzfrequenz f_r der neuen Schaltung (Serienresonanz, oder die Resonanzfrequenz des seriellen Schwingkreises, der durch C_m , L_m und R_m gebildet ist) gegenüber der
- 10 Resonanzfrequenz f_r des (unverschalteten) Resonators unverändert, $f'_r = f_r$, wohingegen nun die Antiresonanzfrequenz $f'_a = f_r \sqrt{1 + C_m / C'_0}$ (Parallelresonanz, oder die Resonanzfrequenz des parallelen Schwingkreises, der durch C'_0 , C_m , L_m und R_m gebildet ist) niedriger als die Antiresonanzfrequenz
- 15 $f_a = f_r \sqrt{1 + C_m / C_0}$ (Parallelresonanz, oder die Resonanzfrequenz des parallelen Schwingkreises, der durch C_0 , C_m , L_m und R_m gebildet ist) des (unverschalteten) Resonators ist. Damit wird die Flankensteilheit eines solche BAW-Resonatoren umfassenden Bandpaßfilters erhöht.

20

Die serielle Verschaltung eines BAW-Resonators und einer Kapazität C_a anstelle eines unverschalteten Resonators reduziert die effektive Kopplung eines BAW-Resonators (d. h. den Abstand zwischen der Resonanz- und der

- 25 Antiresonanzfrequenz des Resonators). Dabei bleibt die Antiresonanzfrequenz f'_a der Schaltung (Parallelresonanz, oder die Resonanzfrequenz des parallelen Schwingkreises, der durch C_0 , C_m , L_m und R_m gebildet ist) relativ zur Antiresonanzfrequenz f_a des Resonators unverändert, $f'_a = f_a$,
- 30 wohingegen die Resonanzfrequenz $f'_r = f_r \sqrt{1 + C_m / (C_0 + C_a)}$ (Serienresonanz, oder die Resonanzfrequenz des seriellen Schwingkreises, der durch C_0 , C_m , L_m und R_m gebildet ist) der genannten Schaltung höher als die Resonanzfrequenz f_r (Serienresonanz, oder die Resonanzfrequenz des seriellen Schwingkreises, der durch C_m , L_m und R_m gebildet ist) des
- 35 Resonators ist. Damit wird die Flankensteilheit eines solche BAW-Resonatoren umfassenden Bandpaßfilters erhöht.

P2002,0843

6

In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist der erfindungsgemäße Resonator auf einem Trägersubstrat angeordnet. Möglich ist es auch, den erfindungsgemäßen Resonator über einem Luftspalt, welcher im Trägersubstrat vorgesehen ist, anzuordnen.

Die erste und die zweite Elektrode besteht aus einem elektrisch leitenden Material, z. B. einem Metall oder einer Metalllegierung.

Die piezoelektrische Schicht besteht vorzugsweise aus AlN, kann aber auch aus einem anderen Material mit piezoelektrischen Eigenschaften bestehen (z. B. ZnO). Möglich ist auch, daß die piezoelektrische Schicht mehrere aneinander angrenzende oder voneinander getrennte, gleiche oder unterschiedliche Schichten mit piezoelektrischen Eigenschaften umfaßt.

Es ist möglich, daß die erste und/oder die zweite Elektrode einen Mehrschichtenaufbau aufweist, der aus zwei oder mehr aneinander angrenzenden Schichten aus unterschiedlichen Materialien besteht. Möglich ist auch, daß die piezoelektrische Schicht im erfindungsgemäßen Resonator zwei oder mehr aneinander angrenzende oder voneinander getrennte Schichten aus unterschiedlichen Materialien umfaßt.

Es ist möglich, daß zwischen der ersten und der zweiten Elektrode zusätzlich eine durchschlagsfeste Schicht angeordnet ist, welche den Resonator vor elektrischen Überschlägen zwischen den Elektroden schützt.

Die erfindungsgemäße Verschaltung einer Kapazität parallel zu einem BAW-Resonator kann in einem Filter, welches beispielsweise in Ladder-Type-Bauweise, in einer Lattice-Type-Bauweise oder als ein SCF (Stacked Crystal Filter) sowie als eine beliebige Kombination aus den genannten

P2002,0843

7

erfindungsgemäßen BAW-Resonatoren aufgebaut ist, realisiert werden.

Es ist möglich, die Verschaltung einer Kapazität parallel zu einem BAW-Resonator nur in einem Serienzweig oder mehreren Serienzweigen eines Filters vorzusehen. Möglich ist es auch, die Verschaltung einer Kapazität parallel zu einem BAW-Resonator nur in einem Parallelzweig oder mehreren Parallelzweigen eines Filters vorzusehen. In einer weiteren Ausführungsform ist es möglich, daß die Verschaltung einer Kapazität parallel zu einem BAW-Resonator in zumindest einem Serienzweig und in zumindest einem Parallelzweig des Filters vorgesehen ist.

Der Wert der Kapazität, die erfindungsgemäß parallel zu einem BAW-Resonator geschaltet wird, beträgt in den genannten Ausführungsbeispielen vorzugsweise zwischen 0,1 und 10 pF.

Es ist vorteilhaft, wenn die Kopplung der Resonatoren nur in den Serienzweigen oder nur in den Parallelzweigen eines Filters oder eines Duplexers durch die parallele Verschaltung der entsprechenden Kapazitäten reduziert wird.

Es ist möglich, die parallel zu einem BAW-Resonator verschaltete Kapazität zu realisieren, indem ein diskreter Kondensator parallel zum BAW-Resonator verschaltet wird. Eine andere Möglichkeit besteht darin, daß eine solche Kapazität im Trägersubstrat durch strukturierte Metallebenen realisiert ist. Möglich ist auch, zwischen den Elektroden des BAW-Resonators eine zusätzliche dielektrische Schicht anzuordnen, um die Kapazität des BAW-Resonators zu vergrößern. Diese dielektrische Schicht kann zwischen der piezoelektrischen Schicht und einer der Elektroden oder zwischen zwei piezoelektrischen Schichten angeordnet sein.

Auch die parasitäre Kapazität des jeweiligen Resonators kann gezielt möglichst groß ausgewählt werden, beispielsweise durch die Vergrößerung der Elektrodenfläche, um die

P2002,0843

8

Flankensteilheit des aus solchen Resonatoren aufgebauten Filters zu verbessern. Möglich sind auch weitere, hier nicht genannte Realisierungen der Erfindung.

- 5 Es ist möglich, daß der untere und/oder obere Schichtbereich des erfindungsgemäßen Resonators aus einer oder mehreren Schichten besteht. Möglich ist es auch, daß im unteren und/oder im oberen Schichtbereich ein akustischer Spiegel realisiert ist, der zumindest zwei alternierende Schichten
10 mit unterschiedlicher akustischer Impedanz umfaßt.

- Der akustische Spiegel besteht aus alternierenden Schichten mit jeweils einer hohen und einer niedrigen akustischen Impedanz, wobei ihre Schichtdicken jeweils ungefähr eine
15 Viertelwellenlänge der akustischen Hauptmode (bezogen auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit der akustischen Welle im jeweiligen Material) betragen. Der akustische Spiegel stellt daher eine bzw. mehrere Grenzflächen bereit, welche bei Resonanzfrequenz die akustische Welle zurück in den Resonator
20 reflektieren und das Austreten der Welle in Richtung des Trägersubstrates verhindern.

- In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung kann eine der Schichten des akustischen Spiegels gleichzeitig
25 eine der genannten Elektroden darstellen.

- Die erfindungsgemäße Verwendung eines BAW-Resonators mit parallel verschalteter Kapazität in der Schaltung eines Bandpaßfilters erhöht die Flankensteilheit des
30 Durchlaßbereiches des Bandpaßfilters. Dadurch erhöht sich die Dämpfung des Signals in den Stopbändern in der Nähe des Durchlaßbereiches. Dies ist besonders vorteilhaft bei Realisierung einer Duplexerschaltung mit einem solchen Bandpaßfilter.

35

P2002,0843

9

Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe ist weiterhin durch die unten beschriebene Ausführungsvariante der Erfindung gelöst.

- 5 Diese erfindungsgemäße Ausführung gibt eine elektrische Schaltung an, welche einen Resonator-Stapel, der zumindest zwei aufeinander angeordnete mit akustischen Volumenwellen arbeitende Resonatoren und zumindest einen weiteren Resonator oder Resonator-Stapel mit BAW-Resonatoren umfaßt. Die
10 genannten mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonatoren enthalten jeweils eine untere Elektrode, eine obere Elektrode und eine dazwischen angeordnete piezoelektrische Schicht. Dabei bilden die im Resonator-Stapel übereinander angeordneten Resonatoren eine
15 Serienschaltung, z. B. in einer Stacked-Crystal-Anordnung (wenn beide Resonatoren eine gemeinsame Elektrode haben) oder einer Coupled-Resonator-Anordnung (wenn zwischen der oberen Elektrode des unteren Resonators und der unteren Elektrode des oberen Resonators eine Koppelschicht vorgesehen ist).

- 20 Die obere Elektrode des unteren mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonators und die untere Elektrode des oberen mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonators, die im Resonator-Stapel angeordnet sind, ist dabei mit einer der
25 Elektroden des zumindest einen weiteren Resonators oder Resonator-Stapels elektrisch verbunden.

- Die erfindungsgemäße Verschaltung kann als ein Grundglied einer Ladder-Type-Anordnung oder (bei einer geeigneten
30 Verschaltung) einer Lattice-Type-Anordnung einzelner Resonatoren betrachtet werden, wobei zumindest zwei der genannten Resonatoren akustisch miteinander verkoppelt und übereinander angeordnet sind. Dabei ist es möglich, daß zwei übereinander im Stapel angeordnete BAW-Resonatoren zwei
35 Serienresonatoren oder Parallelresonatoren der Ladder-Type-Anordnung oder der Lattice-Type-Anordnung realisieren. Möglich ist es auch, daß zwei übereinander im Stapel

P2002,0843

10

angeordnete BAW-Resonatoren einen Serienresonator und einen Parallelresonator der Ladder-Type-Anordnung oder der Lattice-Type-Anordnung realisieren.

- 5 Zwischen der oberen Elektrode des unteren mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonators und der unteren Elektrode des oberen mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonators, die im Resonator-Stapel angeordnet sind, ist vorzugsweise eine Kopplungsschicht vorgesehen.

10

Der zumindest eine weitere Resonator kann beispielsweise ein mit akustischen Volumenwellen Resonator, ein mit akustischen Oberflächenwellen arbeitender Resonator, ein LC-Resonator oder ein oben angegebener Resonator-Stapel sein.

15

Die zweite, mit den im Resonator-Stapel übereinander angeordneten Resonatoren nicht verbundene Elektrode des zumindest einen weiteren Resonators kann mit Masse oder mit einem anschließenden Resonator bzw. einem noch nicht genannten Resonator-Stapel verbunden sein.

20

Die erfindungsgemäße Schaltung stellt eine vorteilhafte Kombination verschiedener an sich bekannter Filteranordnungen, wie z. B. die Anordnung der übereinander gestapelten, miteinander akustisch gekoppelten Resonatoren und einer Ladder-Type-Anordnung bzw. Lattice-Type-Anordnung dar. Die Übertragungsfunktion eines Filters, dessen Grundglieder die erfindungsgemäßen Schaltung realisieren, verglichen mit der Übertragungsfunktion eines Filters, welches aus schon bekannten Resonator-Stapeln aufgebaut ist, weist deutlich steilere Flanken im Durchlaßbereich des Filters auf. Dadurch erzielt man eine ungewöhnlich gute Nahselektion des Filters.

30

Die erfindungsgemäße Schaltung, die z. B. aus einem Resonator-Stapel und einem mit ihm wie oben angegeben

35

P2002,0843

11

elektrisch verbundenen Resonator besteht, bildet vorzugsweise ein Grundelement eines Filters.

Es ist möglich, daß mehrere Parallelresonatoren, die jeweils
5 in einem Parallelzweig unterschiedlicher, miteinander
elektrisch verbundener Grundelemente angeordnet sind,
miteinander akustisch verkoppelt bzw. übereinander angeordnet
sind. Möglich ist auch, daß anstelle nur eines Resonators im
Parallelzweig (Parallelresonators) eines Grundelementes der
10 erfindungsgemäßen Schaltung zwei (vorzugsweise miteinander
verkoppelte) seriell oder parallel verschaltete
Parallelresonatoren realisiert sind.

Ferner ist es möglich, daß mehr als nur zwei
15 Serienresonatoren übereinander angeordnet bzw. akustisch
miteinander verkoppelt sind.

Die beschriebenen Grundelemente der erfindungsgemäßen
Schaltung können miteinander beliebig kombiniert werden.
20

Im folgenden wird die Erfindung anhand von schematischen und
daher nicht maßstabsgetreuen Figuren näher erläutert.

Figur 1 zeigt ein Ersatzschaltbild eines BAW-Resonators
25

Figur 2 zeigt das Schaltbild eines Resonator-Stapels

Figur 3 zeigt einen Resonator-Stapel mit akustisch
gekoppelten BAW-Resonatoren im schematischen
30 Querschnitt (Stand der Technik)

Figur 4 zeigt ein weiteres Beispiel eines Resonator-Stapels
mit akustisch gekoppelten BAW-Resonatoren und einer
Koppelschicht im schematischen Querschnitt (Stand
35 der Technik)

P2002, 0843

12

- Figur 5a zeigt ein Ersatzschaltbild eines BAW-Resonators mit einer erfindungsgemäß parallel zu ihm geschalteten Kapazität
- 5 Figur 5b zeigt ein Ersatzschaltbild eines BAW-Resonators mit einer erfindungsgemäß in Serie zu ihm geschalteten Kapazität
- 10 Figur 6a zeigt ein Grundglied eines in Ladder-Type-Bauweise realisierten Filters mit einer parallel zu einem BAW-Resonator im Serienzweig geschalteten Kapazität
- 15 Figur 6b zeigt die Übertragungsfunktion eines in Ladder-Type-Bauweise realisierten Filters ohne und mit einer parallel zu einem BAW-Resonator im Serienzweig geschalteten Kapazität
- 20 Figur 7 zeigt ein Grundglied eines in Ladder-Type-Bauweise realisierten Filters mit einer parallel zu einem BAW-Resonator im Parallelzweig geschalteten Kapazität
- 25 Figur 8a zeigt ein Ausführungsbeispiel eines in Lattice-Type-Bauweise realisierten Filters mit parallel zu BAW-Resonatoren in den Serienzweigen geschalteten Kapazitäten
- 30 Figur 8b zeigt die Übertragungsfunktion eines in Lattice-Type-Bauweise realisierten Filters ohne und mit einer parallel zu einem BAW-Resonator im Serienzweig geschalteten Kapazität
- 35 Figur 9 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines in Lattice-Type-Bauweise realisierten Filters mit parallel zu BAW-Resonatoren in den Parallelzweigen geschalteten Kapazitäten

P2002,0843

13

Figur 10 zeigt eine erfindungsgemäße Verschaltung eines Resonator-Stapels im Serienzweig und eines weiteren BAW-Resonators im Parallelzweig, im Schaltbild (a) bzw. im schematischen Querschnitt (b)

5

Figur 11 zeigt ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Verschaltung eines Resonator-Stapels und eines weiteren BAW-Resonators im schematischen Querschnitt

10

Figur 12 zeigt eine erfindungsgemäße Verschaltung eines Resonator-Stapels im Serienzweig und eines weiteren Resonator-Stapels im Parallelzweig, im Schaltbild (a) bzw. im schematischen Querschnitt (b)

15

Die Figuren 1 bis 4 wurden bereits einleitend erläutert.

Figur 5a zeigt ein Ersatzschaltbild eines BAW-Resonators mit einer parallel zu ihm verschalteten Kapazität C_a . Der Resonator wird außerhalb des Resonanz-Frequenzbereiches durch eine statische Kapazität C_0 und in der Nähe der Resonanzfrequenz durch einen Widerstand R_m , eine Kapazität C_m und eine Induktivität L_m charakterisiert. Der Widerstand R_m beschreibt Verluste im Resonator, die Kapazität C_m und die Induktivität L_m bestimmen die Resonanzfrequenz. Das Verhältnis C_m/C_0 bestimmt die Kopplung des Resonators. Das Hinzufügen einer parallel zum Resonator verschalteten Kapazität C_a bewirkt die Verringerung der effektiven Kopplung des Resonators, die nun durch $C_m/(C_0 + C_a)$ anstatt C_m/C_0 bestimmt ist.

30

Figur 5b zeigt ein Ersatzschaltbild eines BAW-Resonators mit einer in Serie zu ihm verschalteten Kapazität C_a .

Eine beispielhafte Verschaltung zweier BAW-Resonatoren RA und RB in Ladder-Type-Bauweise und einer parallel zu einem der genannten Resonatoren geschalteten Kapazität C_a ist in Figur 6a gezeigt. Resonator RA ist in einem Serienzweig und

35

Resonator RB ist in einem Parallelzweig der Schaltung angeordnet. Zwei auf diese Weise verschaltete Resonatoren stellen z. B. ein Grundglied eines an sich bekannten Ladder-Type-Filters dar.

5

In Figur 6a ist die Kapazität C_a im Serienzweig der Schaltung integriert. Dabei ist sie parallel zum Serienresonator RA geschaltet, wodurch die Steilheit der rechten Flanke der Übertragungsfunktion im Durchlaßbereich kontrolliert bzw. erhöht werden kann. Ein solches Grundglied kann z. B. im Sendefilter (Tx-Filter) eines Duplexers, insbesondere eines PCS-Duplexers, eingesetzt werden.

Figur 6b zeigt die Übertragungsfunktion S_{21} eines in Ladder-Type-Bauweise realisierten Filters ohne und mit einer parallel zu einem BAW-Resonator im Serienzweig geschalteten Kapazität. Die Übertragungsfunktion des in der an sich bekannten Ladder-Type-Bauweise aus BAW-Resonatoren aufgebauten Filters ist mit einer gestrichelten Linie 11 dargestellt. Die Übertragungsfunktion des erfindungsgemäßen Filters in der Ladder-Type-Bauweise mit einer parallel zu einem BAW-Resonator im Serienzweig geschalteten Kapazität ist mit einer durchgezogenen Linie 12 dargestellt, wobei die Übertragungsfunktion in diesem Fall eine steilere rechte Flanke des Durchlaßbereiches aufweist.

In Figur 7 ist die Kapazität C_a im Parallelzweig der Schaltung integriert. Dabei ist sie parallel zum Parallelresonator RB geschaltet, wodurch die Steilheit der linken Flanke der Übertragungsfunktion im Durchlaßbereich kontrolliert bzw. erhöht werden kann. Ein solches Grundglied kann z. B. im Empfangsfilter (Rx-Filter) eines Duplexers, insbesondere eines PCS-Duplexers, eingesetzt werden.

Die Kapazität C_a kann auf einem Trägersubstrat zusammen mit dem BAW-Resonator angeordnet sein. Die Kapazität C_a kann auch ein diskretes Bauelement mit Außenelektroden darstellen,

P2002,0843

15

welches mit dem BAW-Resonator wie oben beschrieben elektrisch verbunden ist.

Möglich ist es auch, daß die Kapazität C_a in

- 5 Metallisierungsebenen des (mehrlagigen) Trägersubstrats realisiert und mit dem BAW-Resonator wie oben beschrieben, beispielsweise mittels Durchkontaktierungen, Bumpverbindungen oder Bonddrähte, elektrisch verbunden ist.
- 10 Eine beispielhafte Verschaltung zweier BAW-Resonatoren RA und RB in Lattice-Type-Bauweise und einer parallel zu einem der genannten Resonatoren geschalteten Kapazität C_a ist in Figur 8a gezeigt. Ein Resonator RA ist in einem Serienzweig, und ein Resonator RB ist in einem Parallelzweig der Schaltung
- 15 angeordnet. Figur 8a zeigt zwei Paare von den auf diese Weise verschalteten Resonatoren, die z. B. ein Grundglied eines in an sich bekannter Lattice-Type-Bauweise realisierten Filters darstellen.
- 20 In Figur 8a sind zwei Kapazitäten C_a jeweils in einem Serienzweig der Schaltung integriert. Dabei sind sie jeweils parallel zum entsprechenden Serienresonator RA geschaltet, wodurch die Steilheit der rechten Flanke der
- 25 Übertragungsfunktion im Durchlaßbereich kontrolliert bzw. erhöht werden kann. Ein solches Grundglied kann z. B. im Sendefilter (Tx-Filter) eines Duplexers, insbesondere eines PCS-Duplexers, eingesetzt werden.
- Figur 8b zeigt die Übertragungsfunktion S_{21} eines in Lattice-Type-Bauweise realisierten Filters ohne und mit einer
- 30 parallel zu einem BAW-Resonator im Serienzweig geschalteten Kapazität. Die Übertragungsfunktion des in der an sich bekannten Lattice-Type-Bauweise aus BAW-Resonatoren aufgebauten Filters ist mit einer gestrichelten Linie 11
- 35 dargestellt. Die Übertragungsfunktion des erfindungsgemäßen Filters in der Lattice-Type-Bauweise mit einer parallel zu einem BAW-Resonator im Serienzweig geschalteten Kapazität ist

P2002,0843

16

mit einer durchgezogenen Linie 12 dargestellt, wobei die Übertragungsfunktion in diesem Fall eine steilere rechte Flanke des Durchlaßbereiches aufweist.

- 5 In Figur 9 sind zwei Kapazitäten C_a jeweils in einem Parallelzweig der Schaltung integriert. Dabei sind sie jeweils parallel zum entsprechenden Parallelresonator RB geschaltet, wodurch die Steilheit der linken Flanke der Übertragungsfunktion im Durchlaßbereich kontrolliert bzw.
10 erhöht werden kann. Ein solches Grundglied kann z. B. im Empfangsfilter (Rx-Filter) eines Duplexers, insbesondere eines PCS-Duplexers, eingesetzt werden.

- Figur 10a zeigt das Schaltbild einer erfindungsgemäßen
15 Verschaltung eines Resonator-Stapels, der BAW-Resonatoren SR1 und SR2 umfaßt, im Serienzweig und eines weiteren BAW-Resonators PR im Parallelzweig. Der Resonator-Stapel ist zwischen Ports P1 und P2 geschaltet. Eine beispielhafte Realisierung einer solchen Schaltung ist in Figur 10b im
20 schematischen Querschnitt dargestellt. Der Resonator-Stapel umfaßt die piezoelektrische Schicht PS1, die zwischen zwei Elektroden E1 und E2 (Mittlelektrode) angeordnet ist. Darüber ist die piezoelektrische Schicht PS2 angeordnet. Auf der piezoelektrischen Schicht PS2 liegt eine Elektrode E4,
25 die an den Port 2 angeschlossen ist. Der Port P1 ist mit der Elektrode E1 elektrisch verbunden. Die Schichtenfolge E1, PS1 und E2 realisiert z. B. den Resonator SR1 entsprechend der Figur 10a. Die Schichtenfolge E2, PS2 und E4 realisiert z. B. den Resonator SR2 entsprechend der Figur 10a. Der Resonator
30 PR im Parallelzweig der Schaltung laut Figur 10a ist hier durch die Schichtenfolge E6 (Elektrode), PS3 (piezoelektrische Schicht) und E5 (Elektrode) realisiert, wobei die Elektrode E5 mit der Mittlelektrode E2 elektrisch verbunden ist. Die Elektrode E6 ist in diesem
35 Ausführungsbeispiel an die Masse angeschlossen. Möglich ist auch, daß sie an eine andere hier nicht dargestellte Schaltung angeschlossen ist.

P2002,0843

17

Figur 11 zeigt ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Verschaltung eines Resonator-Stapels und eines weiteren BAW-Resonators im schematischen Querschnitt.

- 5 Der Resonator-Stapel besteht von unten nach oben aus einer ersten Elektrode E1, einer ersten piezoelektrischen Schicht PS1, einer zweiten Elektrode E2, einer Koppelschicht KS1, einer dritten Elektrode E3, einer zweiten piezoelektrischen Schicht PS2 und einer vierten Elektrode E4. Der Resonator-
- 10 Stapel bildet zwei übereinander angeordnete und mittels der Koppelschicht miteinander verkoppelte Resonatoren (entsprechend SR1 und SR2 in Figur 10a) und ist zwischen Ports P1 und P2 geschaltet. Der Parallelzweig der Schaltung ist durch einen weiteren Resonator gebildet, der aus einer
- 15 dritten piezoelektrischen Schicht PS3 und sie umfassenden Elektroden E5 und E6 besteht. Die Elektroden E2 und E3 sind mit der Elektrode E5 verbunden. Die Elektrode E6 ist hier an die Masse angeschlossen. Möglich ist auch, daß sie an eine andere hier nicht dargestellte Schaltung angeschlossen ist.

20

- Figur 12a zeigt das Schaltbild einer erfindungsgemäßen Verschaltung eines Resonator-Stapels im Serienzweig und eines weiteren Resonator-Stapels im Parallelzweig zwischen den Ports P1 und P2. Der erste Resonator-Stapel besteht aus zwei
- 25 in Serie geschalteten Resonatoren SR1 und SR2. Der zweite Resonator-Stapel besteht aus zwei in Serie geschalteten Resonatoren PR1 und PR2. Eine beispielhafte Realisierung dieser Schaltung ist in Figur 12b im schematischen Querschnitt dargestellt. Der erste Resonator-Stapel ist wie
- 30 in Figur 10b aufgebaut. Der zweite Resonator-Stapel besteht von unten nach oben aus einer (z. B. an die Masse angeschlossen) Elektrode E6, einer piezoelektrischen Schicht PS3, einer mittleren Elektrode E5, die mit der Elektrode E2 des ersten Resonator-Stapels elektrisch
- 35 verbunden ist, einer piezoelektrischen Schicht PS4 und einer (z. B. an die Masse angeschlossen) Elektrode E7.

P2002,0843

18

Obwohl nicht extra dargestellt, sind auch hier die (unteren) Resonatoren auf einem Trägersubstrat angeordnet, wobei zwischen Trägersubstrat und Resonator jeweils ein Luftspalt oder ein akustischer Spiegel vorgesehen ist.

5

Die Erfindung wurde der Übersichtlichkeit halber nur anhand weniger Ausführungsformen dargestellt, ist aber nicht auf diese beschränkt. Weitere Variationsmöglichkeiten ergeben sich insbesondere im Hinblick auf die möglichen Kombinationen der oben vorgestellten Grundelemente und Anordnungen sowie auf die Anzahl der Schichten in den genannten Schichtbereichen des erfindungsgemäßen Resonators. Die Erfindung ist nicht auf einen bestimmten Frequenzbereich oder einen bestimmten Anwendungsbereich beschränkt. Jede der Schichten des erfindungsgemäßen Resonators (z. B. die piezoelektrische Schicht oder die Elektrode) kann einen Mehrschichtaufbau aufweisen. Der erfindungsgemäße Resonator kann auch mehrere (z. B. nicht aneinander angrenzende) piezoelektrische Schichten oder mehr als nur 2 Elektroden enthalten.

Die elektrischen Verbindungen (einschließlich der Masseanbindungen) in den dargestellten Ausführungsbeispielen können diskrete Elemente, z. B. Induktivitäten, Kapazitäten, Verzögerungsleitungen oder Anpaßnetzwerke enthalten.

P2002,0843

19

Patentansprüche

1. Mit akustischen Volumenwellen arbeitender Resonator,
mit einer Schichtenfolge, enthaltend:
 - 5 - einen unteren Schichtbereich, der eine erste Elektrode umfaßt,
 - einen oberen Schichtbereich, der eine zweite Elektrode umfaßt,
 - eine piezoelektrische Schicht, die zwischen der ersten und
 - 10 zweiten Elektrode angeordnet ist,
 - wobei parallel oder in Serie zu dem genannten Resonator eine Kapazität geschaltet ist.
2. Resonator nach Anspruch 1,
15 der auf einem Trägersubstrat angeordnet ist.
3. Resonator nach Anspruch 1 oder 2,
bei dem der obere und untere Schichtbereich jeweils aus einer Schicht oder mehreren Schichten besteht.
20
4. Resonator nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 3,
bei dem die erste und/oder die zweite Elektrode aus mehreren Schichten besteht, die aus zumindest zwei unterschiedlichen Materialien ausgeführt sind.
25
5. Resonator nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 4,
bei dem im oberen und/oder im unteren Schichtbereich ein akustischer Spiegel realisiert ist, welcher alternierend
zumindest zwei unterschiedliche Schichten mit
30 unterschiedlicher akustischer Impedanz umfaßt.
6. Resonator nach Anspruch 5,
bei dem eine der Schichten des akustischen Spiegels eine der genannten Elektroden ist.
35
7. Resonator nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 6,
der über einem im Trägersubstrat vorgesehenen Luftspalt

P2002,0843

20

angeordnet ist.

8. Filter,

- 5 mit einer Ladder-Type-Anordnung, einer Lattice-Type-Anordnung oder einer Stacked-Crystal-Filter-Anordnung, das zumindest einen Resonator nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 7 in einem Serienzweig und/oder einem Parallelzweig enthält.

10 9. Filter nach Anspruch 8,

- bei dem nur zu den Resonatoren in den Serienzweigen oder nur zu den Resonatoren in den Parallelzweigen des Filters jeweils eine Kapazität parallel oder in Serie geschaltet ist, welche die Kopplung der entsprechenden Resonatoren reduziert.
- 15

10. Duplexer, enthaltend zumindest ein Filter nach Anspruch 8 oder 9.

20 11. Elektrische Schaltung, enthaltend:

- einen Resonator-Stapel, der zumindest zwei übereinander angeordnete mit akustischen Volumenwellen arbeitende Resonatoren umfaßt, und
- zum mindest einen weiteren Resonator oder Resonator-Stapel,
- 25 wobei die genannten mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonatoren jeweils eine untere Elektrode, eine obere Elektrode und eine dazwischen angeordnete piezoelektrische Schicht enthalten,
- wobei die obere Elektrode des unteren mit akustischen
- 30 Volumenwellen arbeitenden Resonators und die untere Elektrode des oberen mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonators, die im Resonator-Stapel übereinander angeordnet sind, mit einer der Elektroden des zumindest einen weiteren Resonators oder Resonator-
- 35 Stapels elektrisch verbunden ist.

P2002,0843

21

12.Schaltung nach Anspruch 11,

bei dem die zweite Elektrode des zumindest einen weiteren Resonators mit Masse verbunden ist.

5 13.Schaltung nach Anspruch 11 oder 12,

bei der zwischen der oberen Elektrode des unteren mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonators und der unteren Elektrode des oberen mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonators, die im Resonator-Stapel angeordnet sind, eine Kopplungsschicht vorgesehen ist.

10

14.Schaltung nach einem der Ansprüche 11 bis 13,

bei der der zumindest eine weitere Resonator ein mit akustischen Volumenwellen arbeitender Resonator, ein mit akustischen Oberflächenwellen arbeitender Resonator, ein LC-Resonator oder ein Resonator-Stapel, der zumindest zwei übereinander angeordnete mit akustischen Volumenwellen arbeitende Resonatoren umfaßt, ist.

15

20

P2002,0843

22

Zusammenfassung

Mit akustischen Volumenwellen arbeitender Resonator und
Schaltung mit dem Resonator

5

Die Erfindung betrifft einen mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonator (BAW-Resonator, BAW = Bulk Acoustic Wave) und Bandpaßfilter, die aus solchen Resonatoren aufgebaut sind. Um die Flankensteilheit des Durchlaßbereiches eines BAW-Bandpaßfilters zu erhöhen, schlägt die Erfindung vor, die effektive Kopplung eines BAW-Resonators zu reduzieren, indem die parallele Beschaltung eines BAW-Resonators und eines Kondensators anstelle nur eines Resonators verwendet wird. Ferner wird zur Erhöhung der Flankensteilheit des Durchlaßbereiches vorgeschlagen, eine Verschaltung von gekoppelten BAW-Resonatoren im Serienzweig einer Filterschaltung mit einem weiteren Resonator oder Resonator-Stapel im Parallelzweig der Filterschaltung zu verwenden, wobei der weitere Resonator oder Resonator-Stapel an die Mittelelektrode des zuerst genannten Resonator-Stapels angeschlossen ist.

Figur 5

10/530507

P2002,0843

1/5

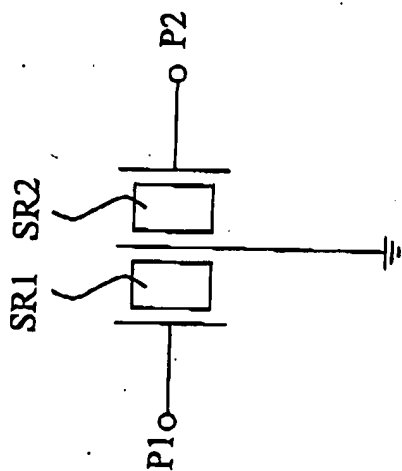


Fig. 1

Fig. 2 (Stand der Technik)

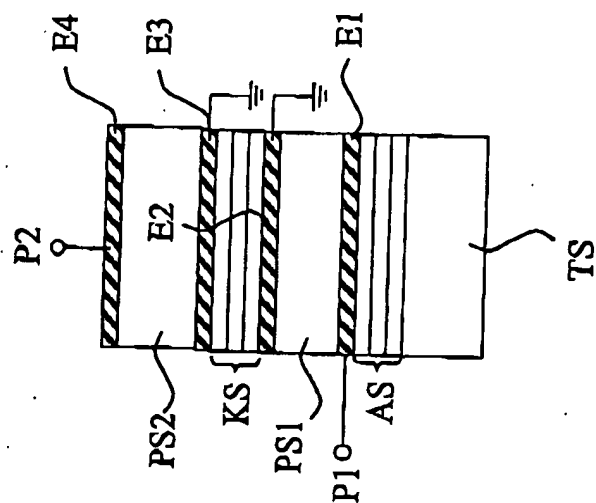


Fig. 3 (Stand der Technik)

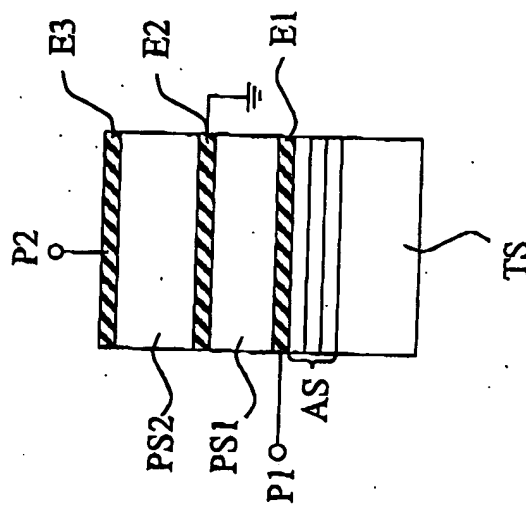
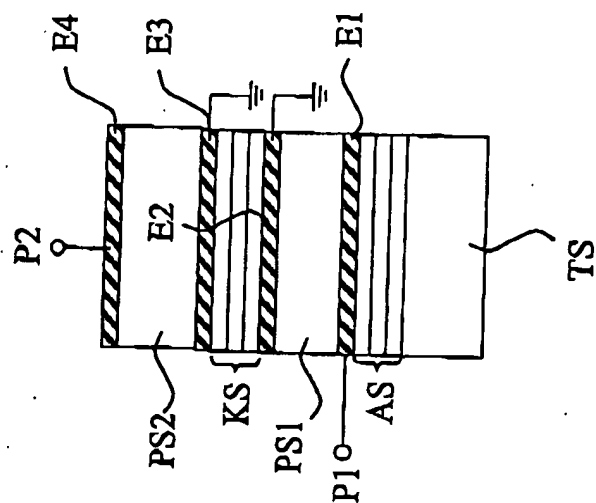


Fig. 4 (Stand der Technik)



10/530507

P2002,0843

2/5

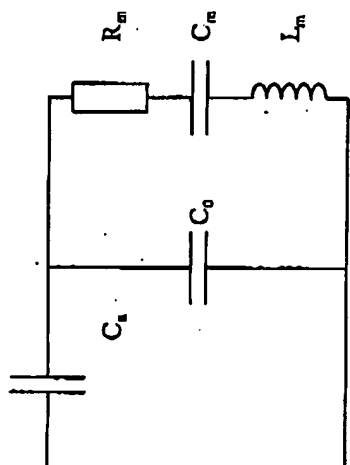


Fig. 5b

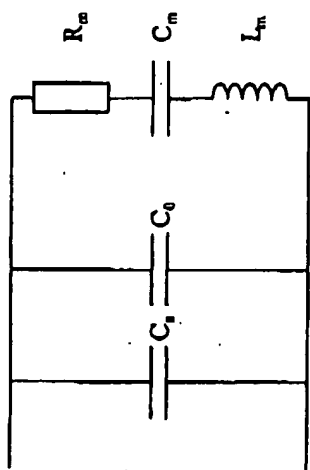


Fig. 5a

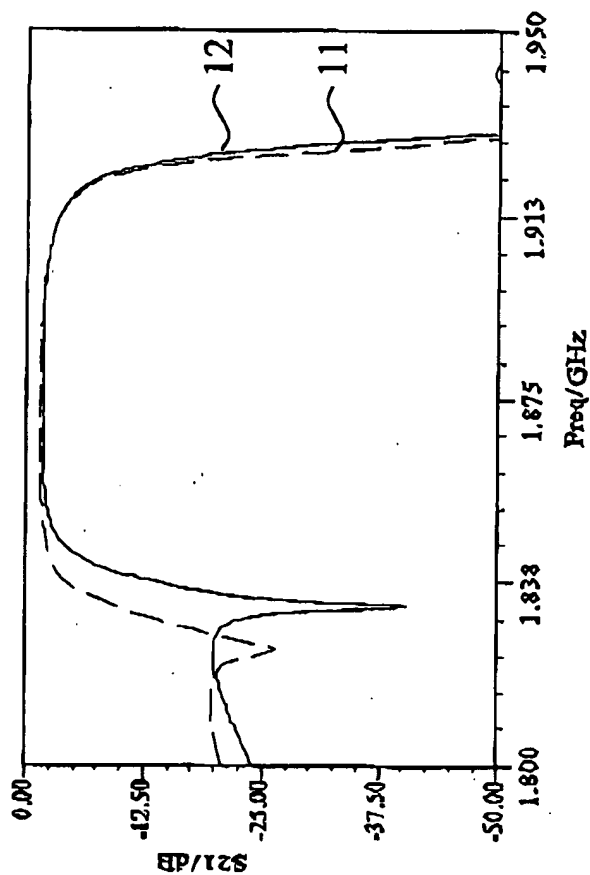


Fig. 6b

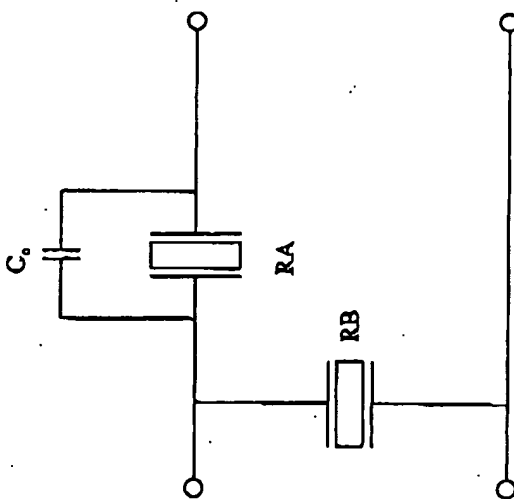


Fig. 6a

10/530507

P2002,0843

3/5

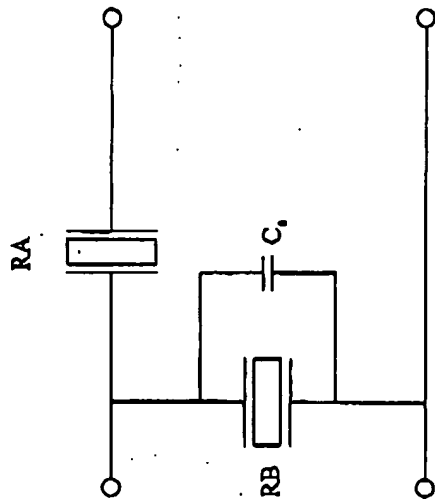


Fig. 7

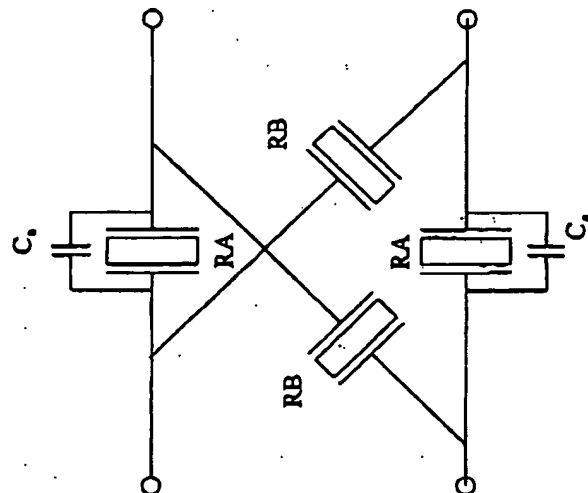


Fig. 8a

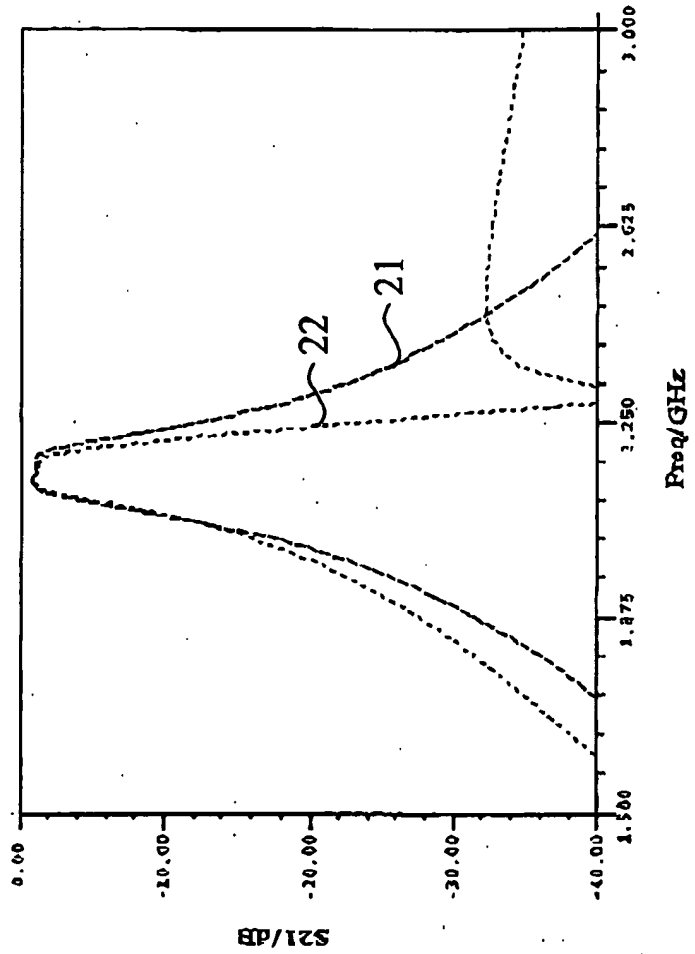


Fig. 8b

10/530507

P2002,0843

4/5

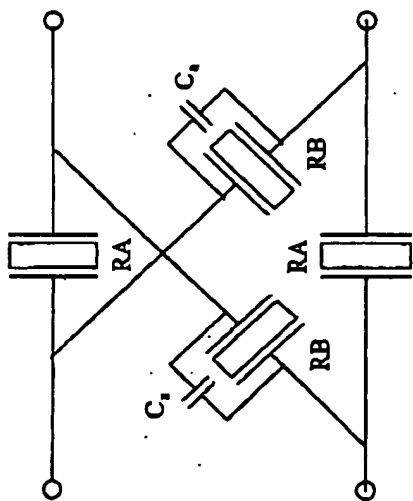


Fig. 9

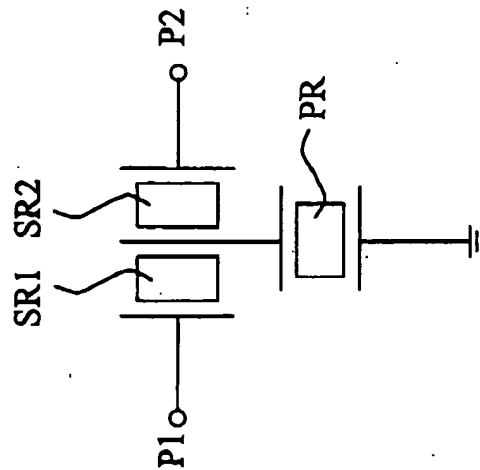


Fig. 10a

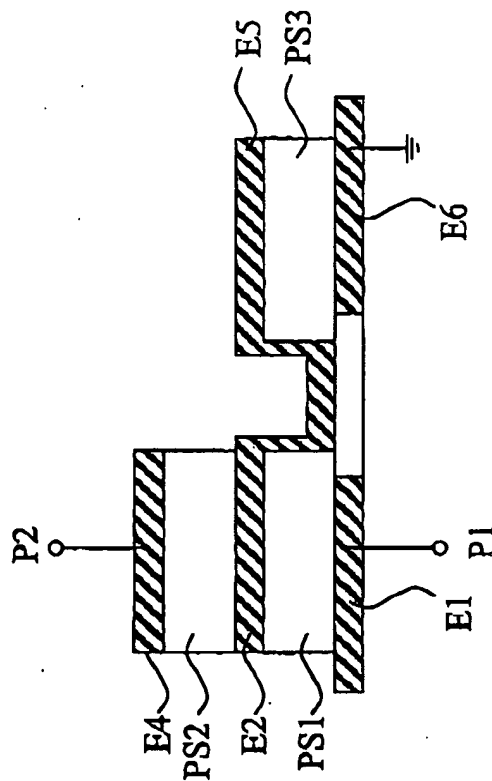


Fig. 10b

P2002,0843

5/5

